

УСУНЕННЯ ПРОДУКТІВ ЕРОЗІЇ КАТОДА НА ВІКНІ ВВЕДЕННЯ У ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Проблема із запиленням продуктами ерозії катода вікна введення (ВВ) променю лазера у вакуумну камеру полягає у тому, що з зменшенням прозорості ВВ суттєво падає ймовірність збудження вакуумної дуги. Вона вирішується в сучасних джерелах плазми в основному способом мінімізації кількості продуктів ерозії (насамперед пари матеріалу) катода, які потрапляють на ВВ променю лазера. Прикладами реалізації цього способу є роботи [1, 2], у яких ВВ закрито заслінкою, що відкривається тільки на короткий час під час проходження лазерного випромінювання (ЛВ).

Більш кардинально ця проблема вирішується завдяки повному закриттю шляху потоку пари матеріалу катода до ВВ. Прикладом цього вирішення є імпульсне джерело плазми [3], у якому приблизно через дві секунди (1000 імпульсів) роботи джерела з графітовим катодом через осадження вуглецевої плівки прозорість ВВ зменшується на 60 %, що призводить до такого ж зниження ймовірності збудження дуги. З метою захисту ВВ променю лазера від запилення перед ним встановлюється стрічка з прозорого полімерного матеріалу, яка під час роботи джерела рухається перед вікном, безперервно оновлюючи прозорість каналу введення випромінювання.

Запропоновані рішення по захисту ВВ від запилення не є досконалими, тому що вони суттєво ускладнюють конструкцію системи запалювання (СЗ) і самого джерела плазми, що підвищує його вартість та істотно знижує надійність. Крім того, рішення по мінімізації запилення вікна введення [2] все одно вимагають періодичного очищення ВВ або його заміни.

Аналіз умов конденсації пари металів на ВВ показав, що конденсація не відбувається ні на яких мішенях, якщо їх температура не нижче деякої критичної температури, що залежить від щільності потоку пари [4]. Ця температура буде визначатися також матеріалом, який надходить до підкладки, а також рядом інших обставин. У самому першому наближенні її можна прийняти не менше температури плавлення матеріалу катода, пари якого надходять на підкладку, якою в нашому випадку є ВВ. Оскільки ВВ виготовляють з різних видів скла, найбільш термостійким з яких є кварцове скло, що витримує температуру 1100 °С (короткочасно до 1400...1500 °С), а з іншого боку температура плавлення одного з найчастіше застосовуваних матеріалів катода джерела плазми – титану є 1671 °С, то можна зробити висновок, що підтримувати температуру ВВ на рівні, при якому на ньому не відбувається конденсація є неможливим.

Виходом з такого положення може бути один із способів введення енергії у зону конденсації: або в дуже тонкий поверхневий шар ВВ, на який надходять молекули матеріалу катода, або безпосередньо в шар конденсату, що формується. Ця енергія може вводитися відомими способами – НВЧ випромінюванням, електронним променем, випромінюванням лазера.

Нами було застосовано введення енергії променем лазера. Відомо, що щільність потужності q лазерного випромінювання на поверхні, що очищується, має бути такою, щоб забезпечувався механізм ударно-механічного очищення (див. рис. 1), який реалізується при

щільності потужності q лазерного випромінювання, що лежить у діапазоні $10^4 - 10^5$ Вт/см² [5]. При меншій щільності потужності q , що вводиться в плівку (випадок, коли $q < 10^4$ Вт/см²), на поверхні, що очищується, відбуватиметься просто теплове нагрівання сформованої плівки без її видалення. У разі коли $q > 10^5$ Вт/см² видалення плівки відбуватиметься за випарним механізмом лазерного очищення. Однак при реалізації випарного механізму температура плівки може досягати декількох тисяч градусів, а оскільки ця плівка знаходиться на поверхні вікна введення лазерного випромінювання (виготовленого з крихкого матеріалу – скла), можливий локальний перегрів цієї поверхні з її подальшим руйнуванням.

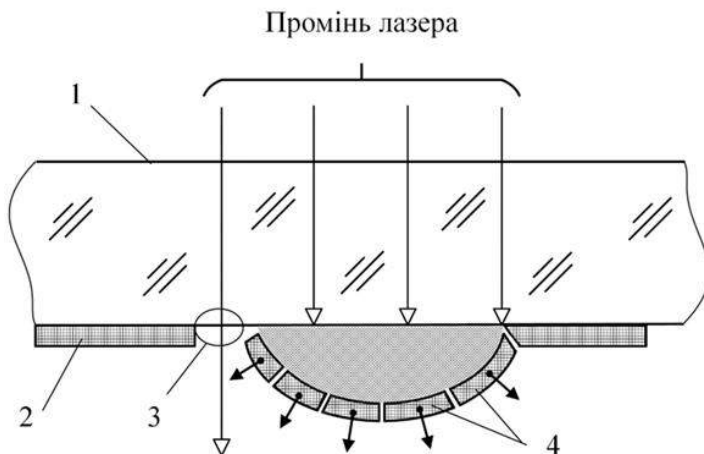


Рис. 1. Механізм ударно-механічного очищення поверхні вікна введення лазерного випромінювання від сформованої плівки:
 1 – вікно введення променю лазера,
 2 – плівка (острівці плівки), яка лежить на поверхні вікна введення,
 3 – ділянка поверхні вікна введення, вільна від острівців плівки,
 4 – фрагменти зруйнованої плівки.

Запропонований спосіб очищення ВВ від запилення був реалізований у розробленому імпульсному вакуумно-дуговому генераторі плазми, зображеному на рис. 2.

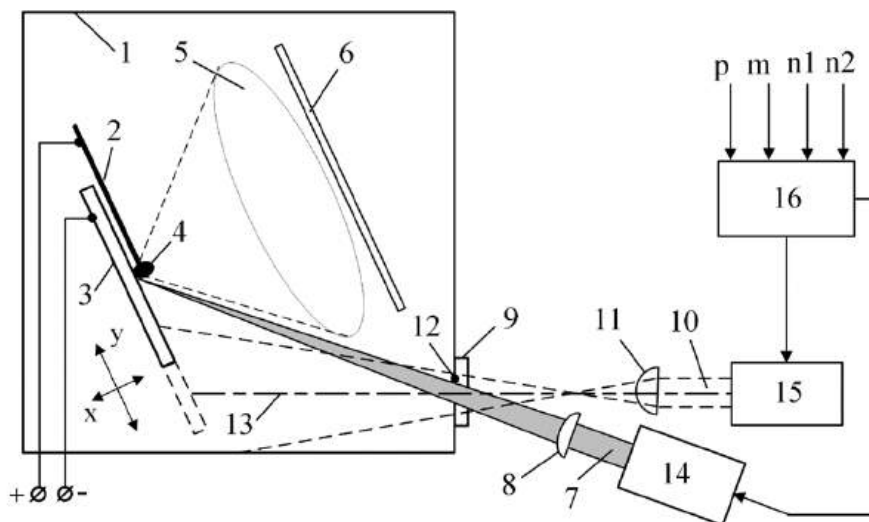


Рис. 2. Конструкція розробленого імпульсного джерела плазми з лазерною СЗ:
 1 – вакуумна камера; 2 – анод; 3 – катод, що переміщуються; 4 – катодна пляма вакуумної дуги; 5 – згусток плазми, який створюється катодною плямою;
 6 – підкладка; 7 – промінь лазера, який ініціює вакуумну дугу; 8 – оптична система, що фокусує ініціюючий промінь лазера на катод; 9 – вікно введення лазерного випромінювання; 10 – допоміжний промінь лазера; 11 – оптична система, що розфокусує допоміжний промінь лазера; 12 – бік вікна введення, на якому конденсується матеріал катоду; 13 – оптична вісь допоміжного промінню лазера; 14 – допоміжний лазер; 15 – основний лазер; 16 – блок керування

Імпульсний генератор плазми розміщений усередині вакуумної камери 1, що відкачується до робочого тиску порядку 10^{-3} Па. Основні його елементи – стрижневий анод 2 і плоский катод 3 були виготовлені з вуглецю марки АГ–1500. Напруга живлення на електроди пристрою подавалася від формуючою лінії (на рис. 2 не показано). Для рівномірного вироблення катода було організовано (за допомогою крокових двигунів) його переміщення по взаємно перпендикулярним координатам X і Y.

Збудження вакуумно-дугового розряду в генераторі плазми здійснюється імпульсом променю 7 лазера 14, який проходить через довгофокусну лінзу 8, вікно введення 9 і фокусується на поверхні катода поблизу краю анода. При цьому на поверхні катода, куди потрапив промінь лазера, виникає катодна пляма 4 вакуумної дуги. Ця катодна пляма створює плазмовий потік 5, який потрапляє на підкладку 6, формуючи на ній покриття з матеріалу катода.

Для створення імпульсів лазерного випромінення використовувався Nd-YAG-лазер. У нашому випадку він працював у режимі $\lambda = 1,06$ мкм, енергія в імпульсі 6 мДж, частота імпульсів 300 Гц, пікова потужність 67 кВт. Сфокусована пляма променю лазера на поверхні катода мала параметри: діаметр плями 150 мкм, щільність потужності у плямі $3,8 \cdot 10^8$ Вт/см².

Для очищення поверхні 12 вікна введення 9 застосовується лазерний промінь 10, створений лазером 15, оптична вісь 13 якого перпендикулярна поверхні 12 вікна введення 9 і який проходить через короткофокусну лінзу 11, фокус якої розташовується поза вакуумною камерою 1.

Роботою лазерів керує блок керування 16, до якого надходить інформація про тиск у вакуумній камері p, матеріал катода m, кількість необхідних спрацьовувань імпульсного джерела плазми (імпульсів вакуумно-дугового розряду) n1 і кількість спрацьовувань імпульсного джерела плазми у поточному технологічному процесі n2.

Імпульсне джерело плазми було використане для отримання алмазоподібних плівок (DLC) на зразках з нержавіючої сталі товщиною близькою 1 мкм. Для цього здійснювалось $1,6 \cdot 10^5$ спрацьовувань пристрою при частоті збудження імпульсів вакуумної дуги 300 Гц. При роботі імпульсного джерела плазми через кожні 100 актів збудження дуги подавався один імпульс ЛВ від допоміжного лазера, яке очищувало ВВ від плівки, що створювалася на ньому до того моменту. Система лазерного очищення у процесі отримання DLC покриттів забезпечувала ймовірність збудження вакуумної дуги у імпульсному джерелі плазми на постійному рівні близькому до 95 % як з початку, так і у кінці процесу напилення.

Список використаних джерел

1. Сысоев, Ю. А. Автоматизированная система измерения температуры для вакуумных многоцелевых технологических установок / Ю. А. Сысоев // Новые технологии в машиностроении : тр. V Междунар. конф. – Рыбачье, 3-8 сент. 1996. – Харьков : ХАИ, 1996. – С. 285–287.
2. Пат. РФ № 2176681, МПК С23С14/00. Способ получения покрытий в вакууме, устройство для получения покрытий в вакууме, способ изготовления устройства для получения покрытий в вакууме / В. В. Волков, С. И. Мирошкин, С. В. Шалимов, А. А. Савельев. – Оpubл. 10.12.2001.
3. Scheibe, H.-J. Preparation of diamond-like films by laser-controlled arc deposition (LASER – ARC) [Text] / H.-J. Scheibe, D. Dreschner // Thin Films Proc. of the joint 4th Int. Symp. TATF'94 and the 11th Conf. HVITF'94, Dresden, march 7–11, 1994. – P. 139-142.
4. Rideal, Eric K. Concepts in Catalysis. Aca-demic Press Publ., 1968. 194 p.
5. Афанасьєва О. В. Лазерна поверхнева обробка матеріалів / О. В. Афанасьєва, Н. О. Лалазарова, Є. П. Федоренко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.